

# 1959年北太平洋海区海洋与 大气能量交换的基本特征\*

陈恩久 張丕远

(中国科学院地理研究所)

海洋与大气的相互作用问题,是气象学和海洋学研究的重要问题之一。海洋与大气的能量交换(以下简称海气间能量交换)问题亦日益受到各国学者的重视。叶篤正<sup>[2]</sup>在论述近代气象学的新发展和展望中指出:海洋的热容量很大,海水温度的小量变化给予大气的影 响是不容忽视的;不了解大气和海洋的关系,对长期预告是不利的。

海气间能量交换,即海洋表面与近海面层大气的热量交换。Шулейкин<sup>[8]</sup>早在1935年以前就以喀拉海为例,进行过热量交换的实际计算。迄至目前,苏联学者已把苏联所有邻海和內海的海气间能量交换和热量平衡的多年平均值作了计算。尾形哲等<sup>[3-5]</sup>也分别计算过北太平洋上台风时期的海气间能量交换以及东海、日本海的海气间能量交换。在北太平洋上,除 Jacobs<sup>[12]</sup>对整个大洋的海气间能量交换进行了计算外,Строкина<sup>[9,10]</sup>等也计算了北太平洋和濒临北太平洋的白令海、鄂霍次克海、日本海及中国东海和黃、渤海的海气间能量交换或热量平衡。

本文计算了1959年的海气间能量交换的显热( $Q_c$ )、潜热( $Q_e$ )和总热量交换( $Q_a$ )的全年各季的分布,同时计算了洋面蒸发,探讨了海气间热量的相互作用及其空间、时间变化上的特点,从而由量的方面阐明海洋对大气的热力贡献。1959年是我国近数十年来较严重的干旱年份,通过这一计算,以了解干旱年份的海气间能量交换的特征。

## 一、计算方法 and 资料

迄至目前,关于海面显热( $Q_c$ )、潜热( $Q_e$ )的计算方法很多。现在先讨论一下海面蒸发( $E$ )的计算方法。

1. 最早的海洋蒸发资料是使用大陆沿岸或岛屿测站的记录外推到海洋上的。1887年开始有个别船舶在甲板上设置蒸发皿观测,1920年前后 Wüst 等人用蒸发皿资料和某些气象要素组成经验公式来表示海面蒸发( $E$ )。但是,由于蒸发皿资料少,经验公式不准确,这个方法已予废置。

2. 不少作者曾用能量平衡方法<sup>[6]</sup>,即利用方程  $Q_r = Q_c + Q_e \pm Q_v$  来计算蒸发( $E$ )。方程中  $Q_r$  为辐射平衡;  $Q_v$  为平流项。但因深海资料及海水平流输送( $Q_v$ )资料难以获得,尤其是对个别年份,应用这个方法困难尚多。

\* 本文曾于1963年10月在武汉召开的中国海洋湖沼学会第二届全国代表大会暨1963年学术年会上宣读过,会后略有补充;在撰写过程中承吕炯先生审阅,并提出一些意见和略加修改;王鹤烈同志曾参加本文部分工作,夏庆根同志代为绘图,谨此一并致谢。

3. 通过闭合测站网的记录, 计算水、热输出输入, 或用铅直运动方法, 从而求出海面蒸发( $E$ )。但由于记录的限制, 这种方法常无法使用。

4. 直接从气象要素来计算海面蒸发( $E$ )。Schmidt<sup>[15]</sup>等首先开始这方面的工作。Sutton<sup>[17]</sup>从扩散和平流方程出发, 着手解决这一问题, Montgomery<sup>[13]</sup>给出:

$$E = \rho K_a r_a \Gamma_a (q_w - q_a) W_a$$

式中  $E$  为蒸发量,  $\rho$  为空气密度,  $K$  为 Karman 常数,  $r_a$  为摩擦系数,  $\Gamma_a$  为蒸发系数,  $q_w$ 、 $q_a$  分别为海面上及  $a$  高度上的比湿,  $W_a$  为  $a$  高度上的风速, 这里的  $r_a$ 、 $\Gamma_a$  都是未知数。通过 Sverdrup<sup>[18]</sup>、Rossby<sup>[14]</sup> 的工作, 最后得到:

$$E = k(e_w - e_a) W_a$$

式中蒸发量( $E$ )的单位为毫米/日, 水汽压( $e$ )的单位为毫巴, 风速( $W_a$ )的单位为米/秒,  $K$  为系数。

关于  $K$  的确定有种种方法, Jacobs<sup>[12]</sup> 利用太平洋的多年平均资料, 求出  $K = 0.143$ 。其后, Hay、Shellard<sup>[16]</sup> 等人利用英国船舶资料, 得出在大西洋上的  $K$  值, 结果比 Jacobs<sup>[12]</sup> 的值要小 20% 左右。由于我们应用的是美国资料, 而太平洋上的  $K$  值还未作出更新的结果, 目前又限于资料无法重新确定  $K$  值, 所以就使用 Jacobs<sup>[12]</sup> 的公式来计算海洋表面的蒸发( $E$ )。

关于总热量交换( $Q_e$ )的讨论: 总热量交换( $Q_e$ )是潜热交换( $Q_c$ )与显热交换( $Q_s$ )之和。将蒸发( $E$ )乘以潜热( $L$ )即得潜热交换( $Q_c$ ); 显热交换( $Q_s$ )则是将潜热交换( $Q_c$ )乘以 Bowen 比得出的。潜热交换( $Q_c$ ), 即由于蒸发所消耗的热量, 单位是卡/平方厘米·日。显热交换( $Q_s$ )的单位也是卡/平方厘米·日。显热交换也就是海面与近海面层大气的湍流热交换。这两项热量交换的正值, 表示由海面向大气输送热量, 即海洋供给大气热量。负值则表示相反的情况, 即大气供给海洋的热量。

在我们的工作中,  $K$  值我们采用了 Jacobs 得出的太平洋上的平均值。按照

$$E = 0.143(e_w - e_a) W_a$$

式中  $E$  为毫米/日,  $e$  为毫巴,  $W_a$  为米/秒。而

$$Q_c = EL$$

取  $L = 585$ 。则上式为:

$$E \text{ 毫米/日} \cdot L \text{ 卡/立方厘米} = \text{毫米/平方厘米} \cdot 10 \text{ 毫米} \cdot \text{卡/日}。因此$$

$$Q_c = \frac{EL}{10} = \frac{[0.143(e_w - e_a) W_a] 585}{10} = 8.37(e_w - e_a) W_a$$

至于  $Q_s$ , 由 Bowen 比

$$R = \frac{Q_s}{Q_c} = 0.65 \frac{t_w - t_a}{e_w - e_a} \cdot \frac{P}{1,000}$$

式中  $t$  为(°C),  $e$  为毫巴。在海面  $P/1,000$  大约为 1, 所以

$$Q_s = R Q_c = 0.65 \frac{t_w - t_a}{e_w - e_a} \cdot 8.37(e_w - e_a) W_a = 5.44(t_w - t_a) W_a$$

最后得到:

$$Q_e = 8.37(e_w - e_a) W_a$$

$$Q_c = 5.44(t_w - t_a)W_a$$

以上两式中  $e_w$  为海面水温条件下的饱和水汽压(毫巴),  $e_a$  为海面上  $a$  高度的空气水汽压(毫巴);  $t_w$  为海面温度( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_a$  为海面上  $a$  高度的气温( $^{\circ}\text{C}$ )。  $W_a$  为海面上  $a$  高度的风速(米/秒)。

本文所用资料,系取自美国天气局的“北半球资料”<sup>1)</sup>中的海洋部分。我们把整个北太平洋上逐日的船舶天气报告的气象要素,作出每 5 度经纬度的 5 天平均值。由于船舶观测的位置是移动的,同时风速记录的变动性也较大,所以我们采用了面积平均和时间平均的办法,使天气资料能够具有时间和地区的代表性。将整个北太平洋上的水、气温差( $T_s$ )、露点温度( $T_d$ )和风速( $W_a$ )经过查表换算后,就求得了水温( $t_w$ )、气温( $t_a$ )、海面饱和水汽压( $e_w$ )及空气的水汽压( $e_a$ )。此外,在计算过程中,对潜热( $Q_c$ )作了盐度订正。

## 二、北太平洋海气间能量交换的基本特征

### 1. 海气间能量交换月平均值的季节变化

**1. 夏季** 我们用 6、7、8 三个月来讨论。在 6 月份的显热( $Q_c$ )分布图上,我们看到,大致在  $25^{\circ}\text{N}$  以北,负值区(显热自大气输向海洋的区域)与正值区(显热自海洋输向大气的区域)相间出现。在这个纬度以南,除西南部外,全部为正值(图略)。

从图 1 可以看到 7 月份显热( $Q_c$ )的分布,这一年在南海一小部分,从东海起,经日本海和日本本州东南方海域,沿北海道东岸和千岛群岛一直延伸到阿留申群岛,以至阿拉斯加东南方的广大海域,都是一片负值区。在这片负值区以南的整个大洋上为正值区,最大中心(143 卡/平方厘米·日)出现在  $15^{\circ}\text{N}$  以南的大洋中部和东南部。这种分布形势与 Jacobs<sup>[2]</sup>的显热( $Q_c$ )多年平均值的夏季(6、7、8 月)的分布相近似,但是无论在北方洋面的负值区,还是南方洋面上的正值区都显著的加大了。这种北方负偏距和南方正偏距的分界线大致为  $40^{\circ}\text{N}$ 。这一年 7 月亚洲大陆及沿海的高空西风特别强,它的位置也在  $40^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$ , 因此,西风急流中的气旋性扰动以及相联系的冷空气活动,一般不易影响到  $40^{\circ}\text{N}$  以南的地区。这一点和显热交换( $Q_c$ )偏距的分布是有关联的。至于 8 月份的显热( $Q_c$ )分布形势,和 7 月份分布形势基本上是一样的(图略)。

夏季 7 月潜热交换( $Q_c$ )的分布如图 2 所示。从图 2 可以看到:潜热( $Q_c$ )的最大值出现在低纬度的大洋中部,与 6—8 月的多年平均值相似。在  $40^{\circ}\text{N}$  以北的整个大洋上的低值区,只有在千岛群岛的东南方海域上,存在着小小的一块负值(凝结)区。

夏季在北太平洋上的关岛、威克岛、中途岛以及夏威夷群岛都是干旱少雨的<sup>2)</sup>。这些地区也正好对应着海气间能量交换的显热( $Q_c$ )正偏距区,这一现象是值得继续研究的。

**2. 冬季** 我们分析了 1958 年 12 月, 1959 年 1 月和 2 月的资料。1958 年 12 月的显热( $Q_c$ )分布图没有给出,但是在图上可以看到,显热( $Q_c$ )总的分布形势呈纬向分布。最大中心在日本本州的东方海域上,如果以 120 卡/平方厘米·日的等值线为界,那么,这个最大中心在大洋西北角是一个舌形带状区。负值区是在美国与加拿大沿岸的  $40^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$ ,

1) Northern Hemisphere Data Tabulation, 1959, U. S. Weather Bureau.

2) Monthly Climatic Data for the World, 1959. 7, World Meteorological Organization and U. S. Weather Bureau.

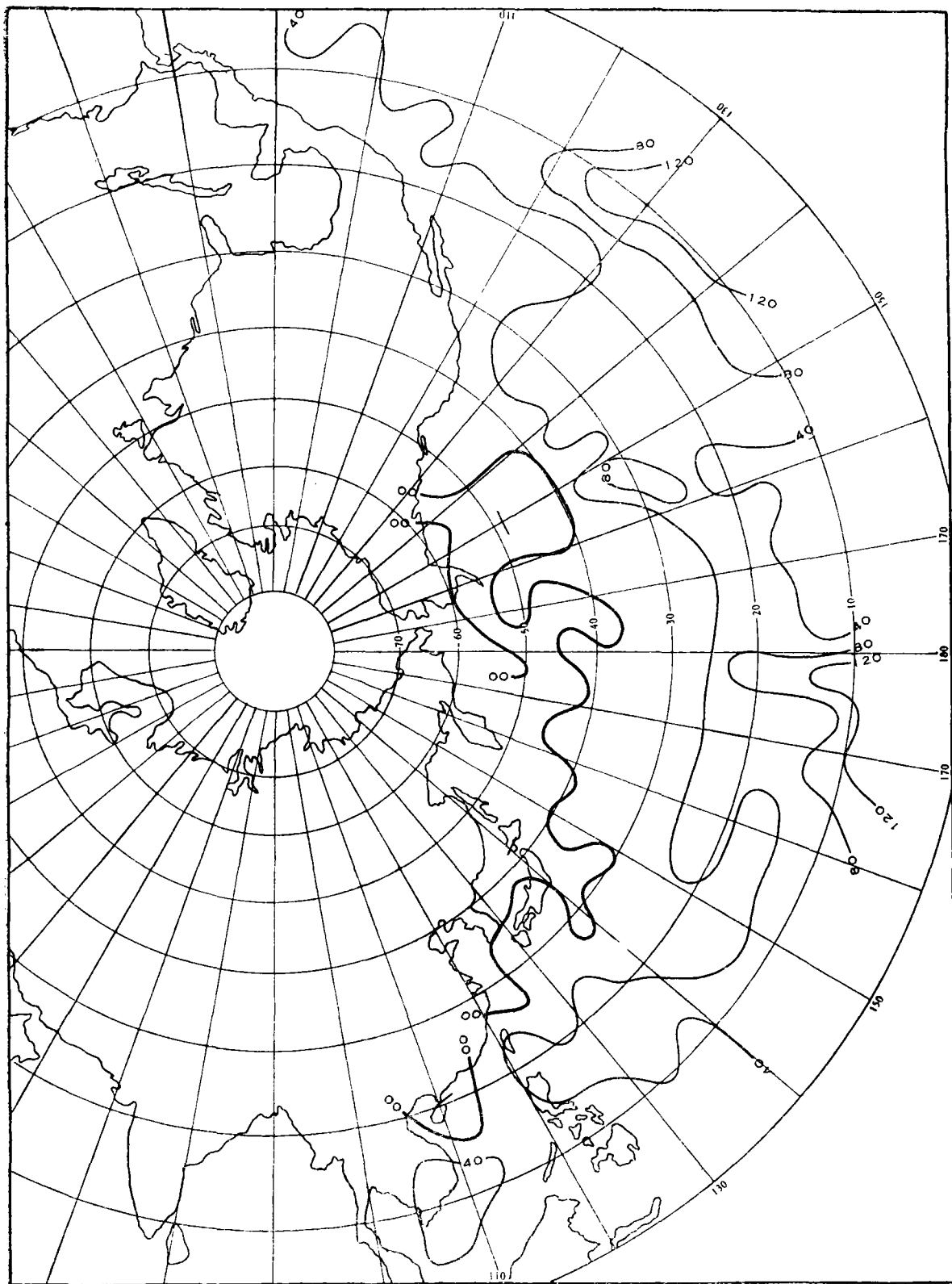


图1 1959年7月显热交换( $Q_s$ )平均分布(卡/平方厘米·日)  
 Fig. 1 Sensible heat exchange, July, 1959. ( $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ )

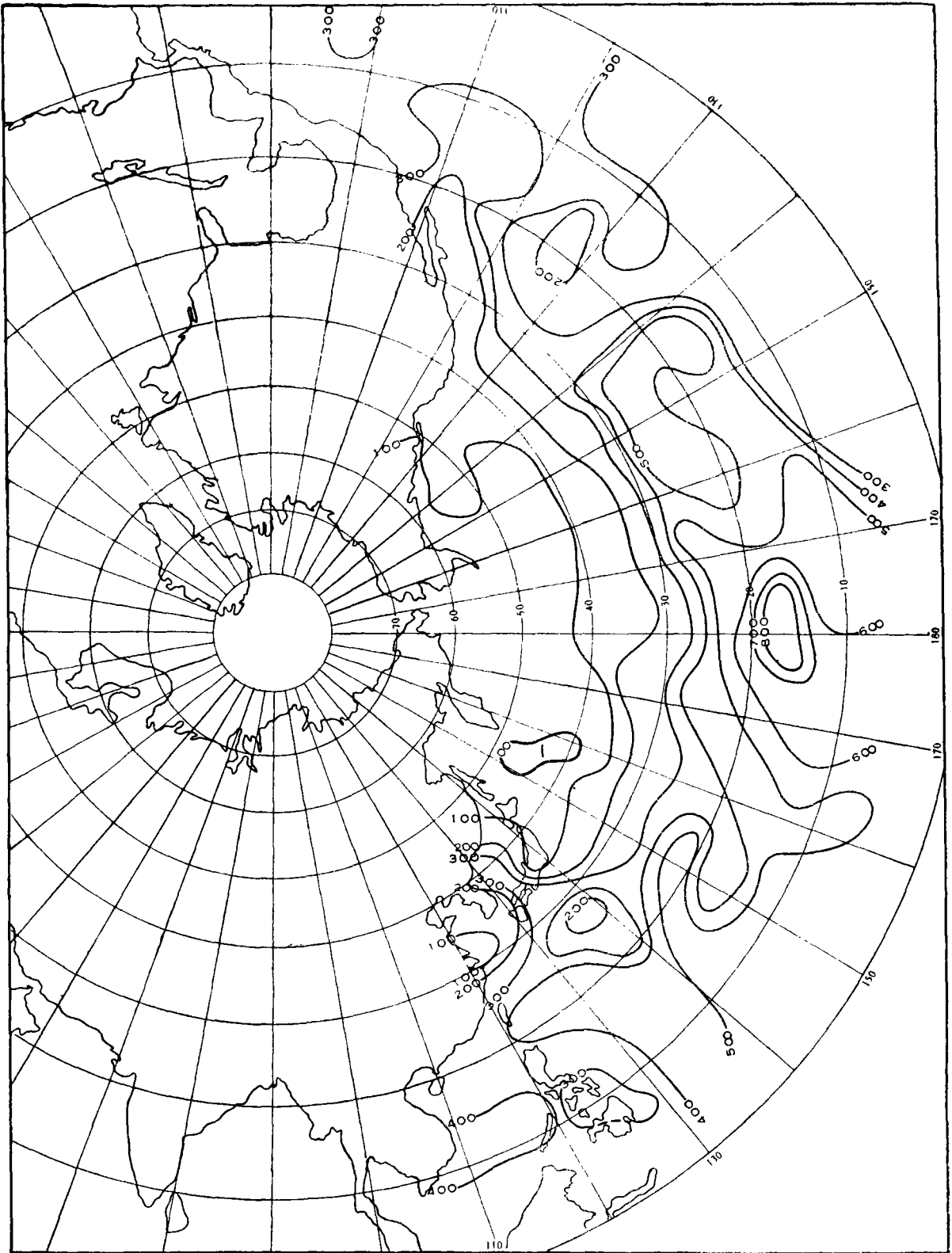


图 2 1959 年 7 月潜热交换( $Q_e$ )平均分布(卡/平方厘米·日)  
 Fig. 2 Latent heat exchange, July, 1959. ( $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$ )

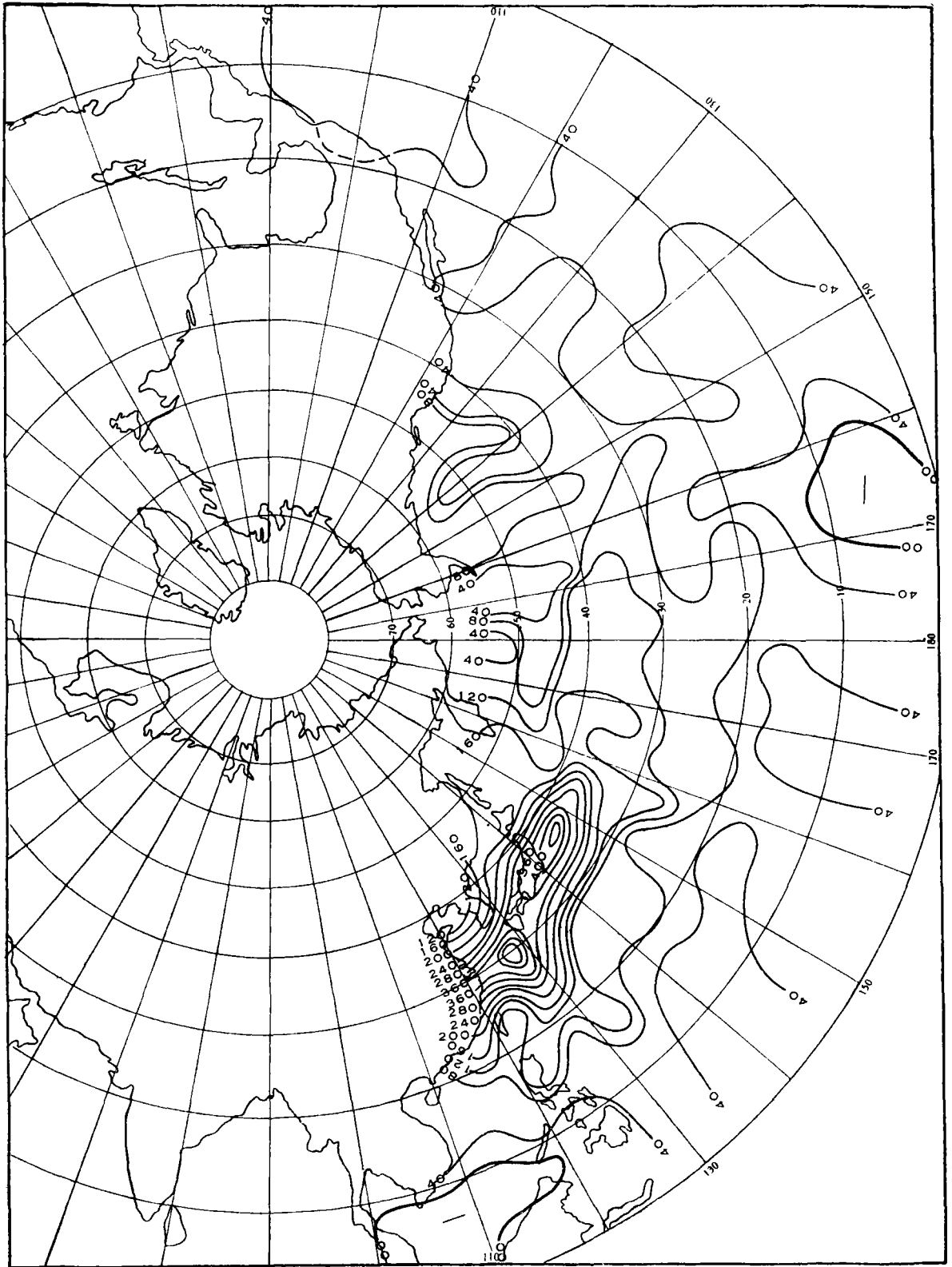


图3 1959年1月显热交换( $Q_c$ )平均分布(卡/平方厘米·日)  
 Fig. 3 Sensible heat exchange, January, 1959. (cal/cm<sup>2</sup>. day)

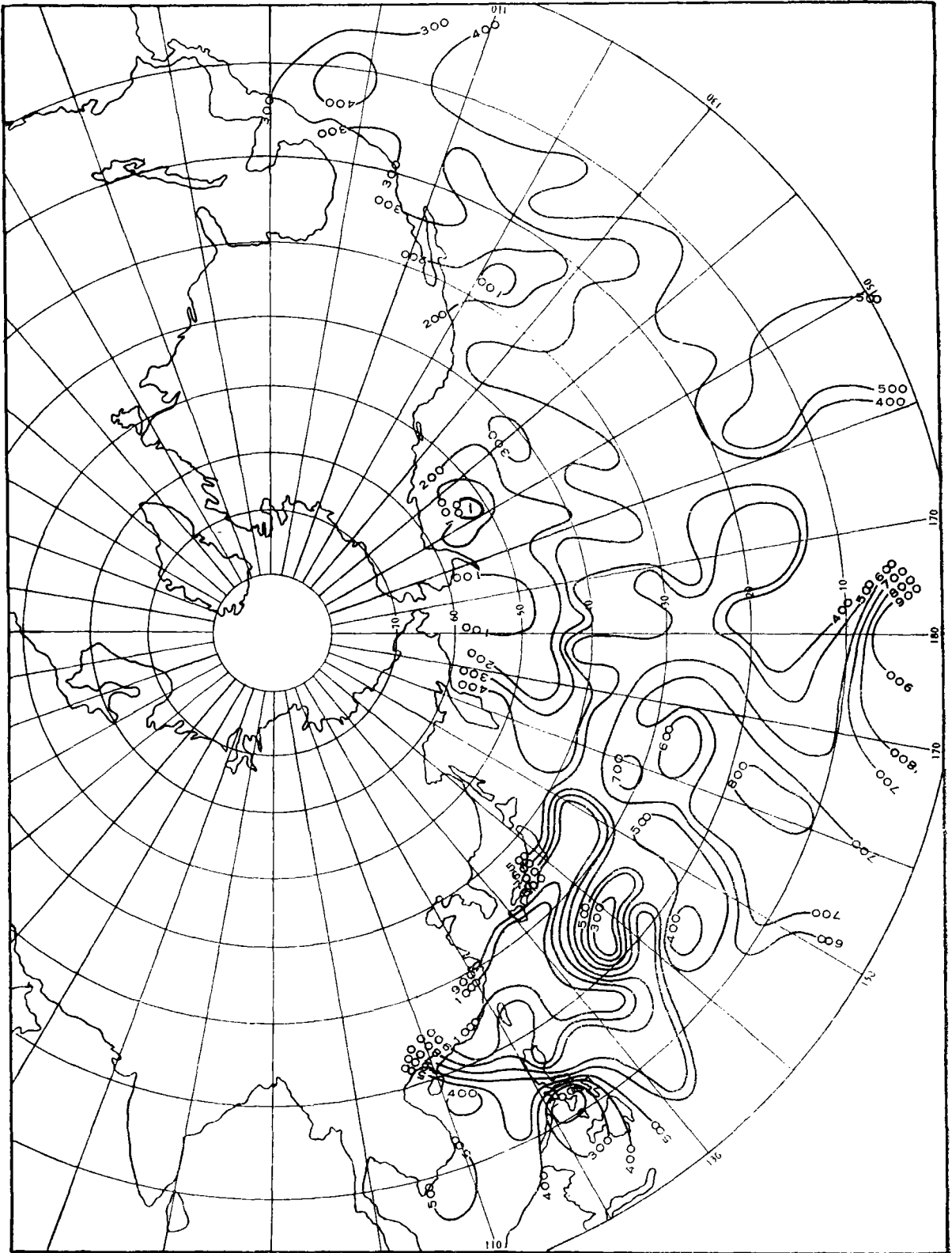


图 4 1959 年 1 月潜热交换( $Q_e$ )平均分布(卡/平方厘米·日)

Fig. 4 Latent heat exchange, January, 1959. (cal/cm<sup>2</sup>. day)

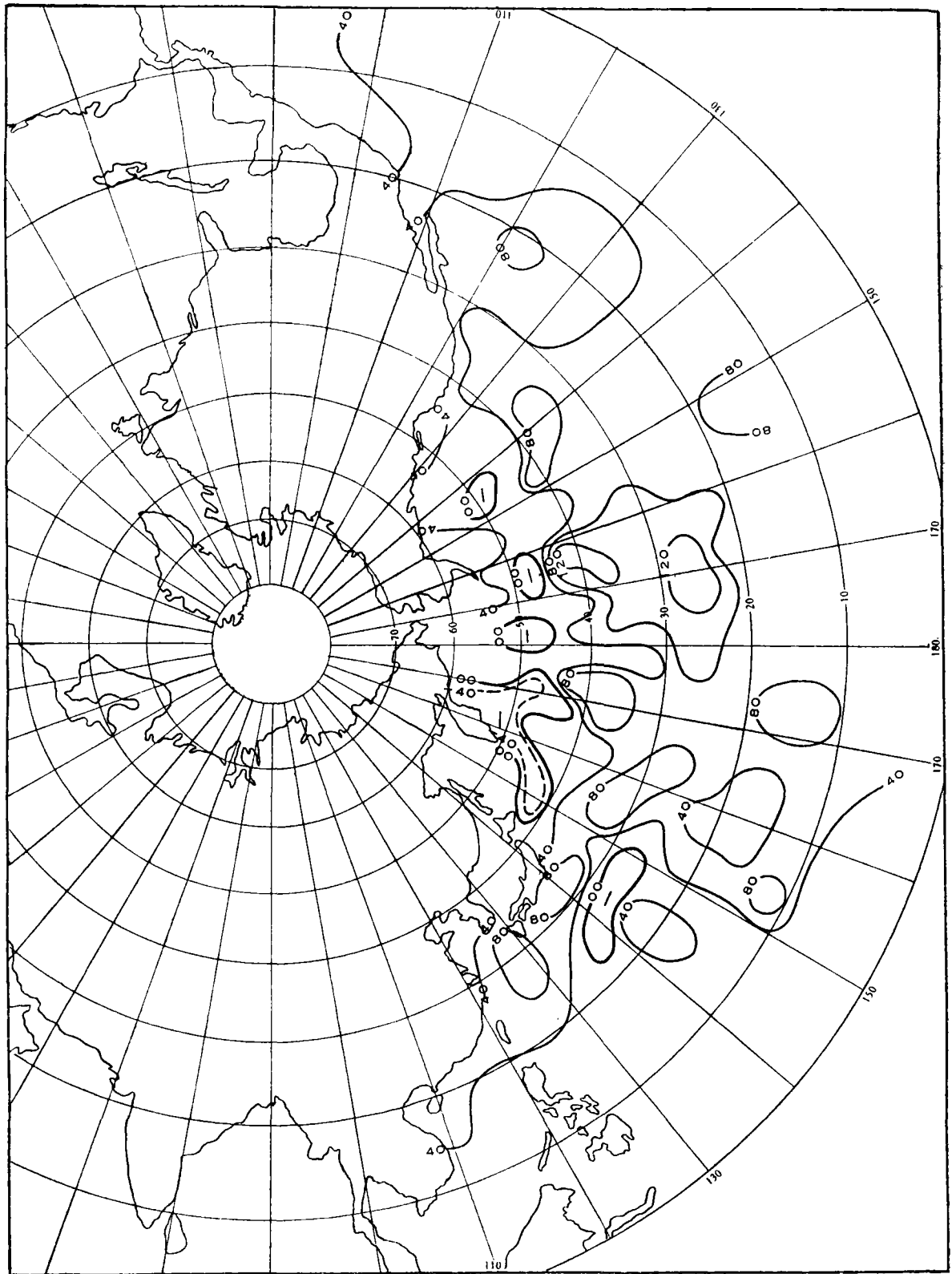


图5 1959年4月显热交换( $Q_c$ )平均分布(卡/平方厘米·日)

Fig. 5 Sensible heat exchange, April, 1959. (cal/cm<sup>2</sup>. day)



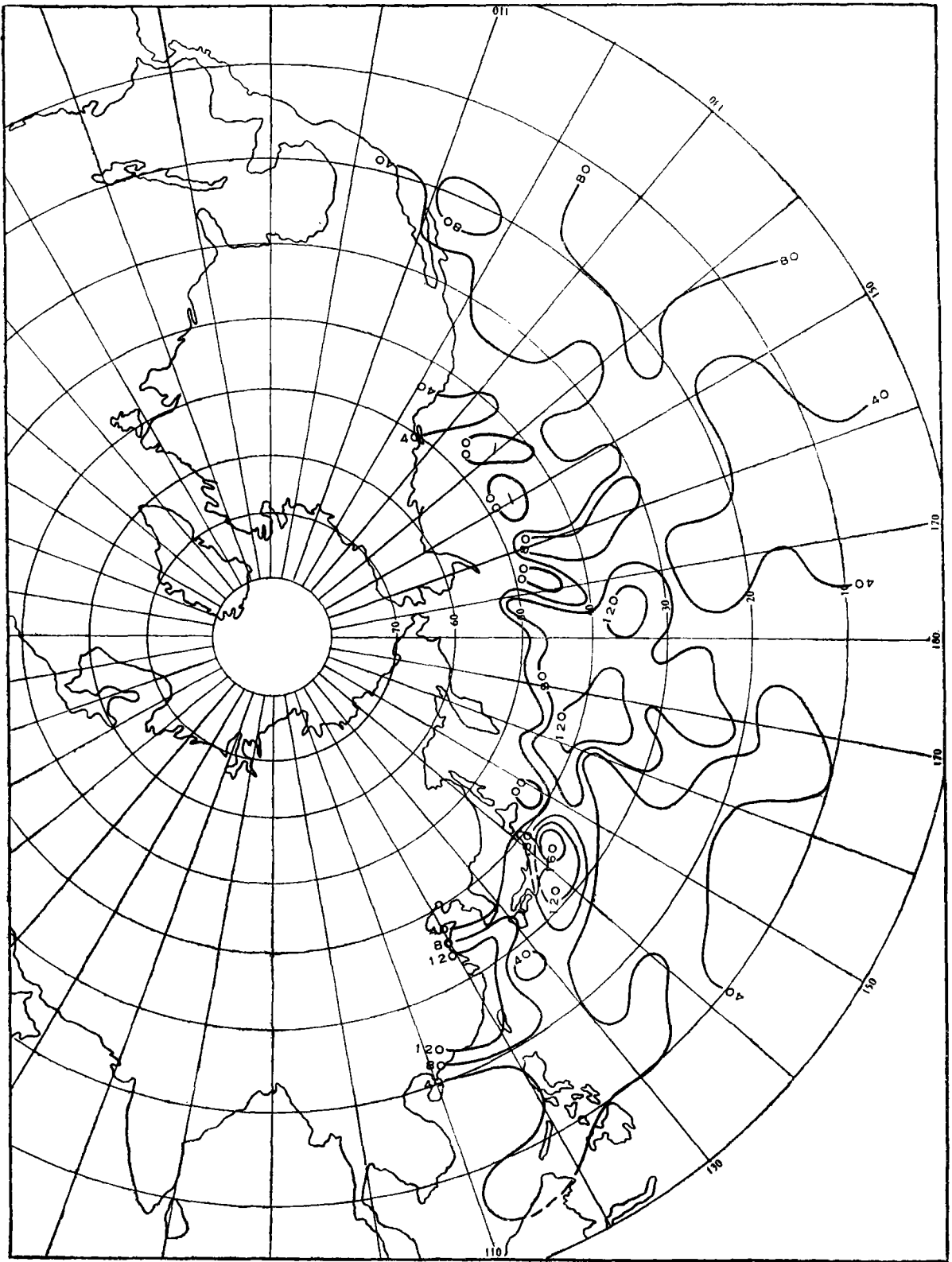


图6 1959年10月显热交换( $Q_s$ )平均分布(卡/平方厘米·日)  
 Fig. 6 Sensible heat exchange, Oct., 1959. ( $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ )

155°E 以东的地区。

在 1 月份(图 3), 我們观察到的: 东海和日本本州东方海域为两个最大中心, 它們分别为 463 卡/平方厘米·日和 441 卡/平方厘米·日。在 Jacobs 的冬季(12、1、2 月)多年平均图上, 显热( $Q_c$ )在黑潮暖流上的台湾东北部的东海和日本东方海域也是两个最大中心, 它們分别为 180 卡/平方厘米·日和 274 卡/平方厘米·日。上述 1 月的两个最大中心区向东伸展到 155°E, 比 12 月的舌状分布更为明显, 这里等值綫最为密集, 加热梯度最大, 为 1959 年冬季的特征。冬季在大洋西部, 海洋对大气是一个較强的加热地区。而 1959 年 1 月份这种作用比平常更加突出。这一年夏季是我国的最干旱季。呂炯等<sup>[1]</sup>曾指出, 在干旱年份北太平洋西部海水温度普遍地升高。尽管我們得出的是能量交换的結果, 但基本上是和上述結論相符合的。此外, 它和 Будыко<sup>[11]</sup>与 Строккина<sup>[9]</sup>根据最新資料所繪制的多年平均 1 月份图上的分布形势也是一致的。

同样, 我們在 2 月的显热( $Q_c$ )图(略)上也看到, 它的分布形势基本上和 1 月份一样, 虽然整个数值已有所减弱。

比較冬夏两季我們看到, 冬季显热( $Q_c$ )数值远远大于夏季。几乎在中、高緯度的大洋西半部, 冬季显热( $Q_c$ )值皆大于 80 卡/平方厘米·日; 而夏季同緯度的地区, 却大部分是負值区。

1 月份的潛热( $Q_e$ )值如图 4 所示。最大值出現在东海、日本西南方洋面上, 它們也都高于多年平均值。

**3. 春季和秋季** 我們以 4 月代表春季, 以 10 月代表秋季。图 5 和图 6 表示春秋两季显热( $Q_c$ )的分布。从图中可以看到春、秋两季显热( $Q_c$ )总的分布形势是类似的。春秋两季在大洋的正中部有一个等值綫为 80 卡/平方厘米·日的閉合区, 但春季偏东, 秋季偏西。最大值也都出現在閉合区内, 但秋季在东海也有一个大的中心。这是洋面供給大气的热量的地区。洋面从大气获得热量的地区(負区), 春、秋两季基本上都出現在 40°N 以北的高緯度地区, 而且是以零星的小区与正值区相間出現的。

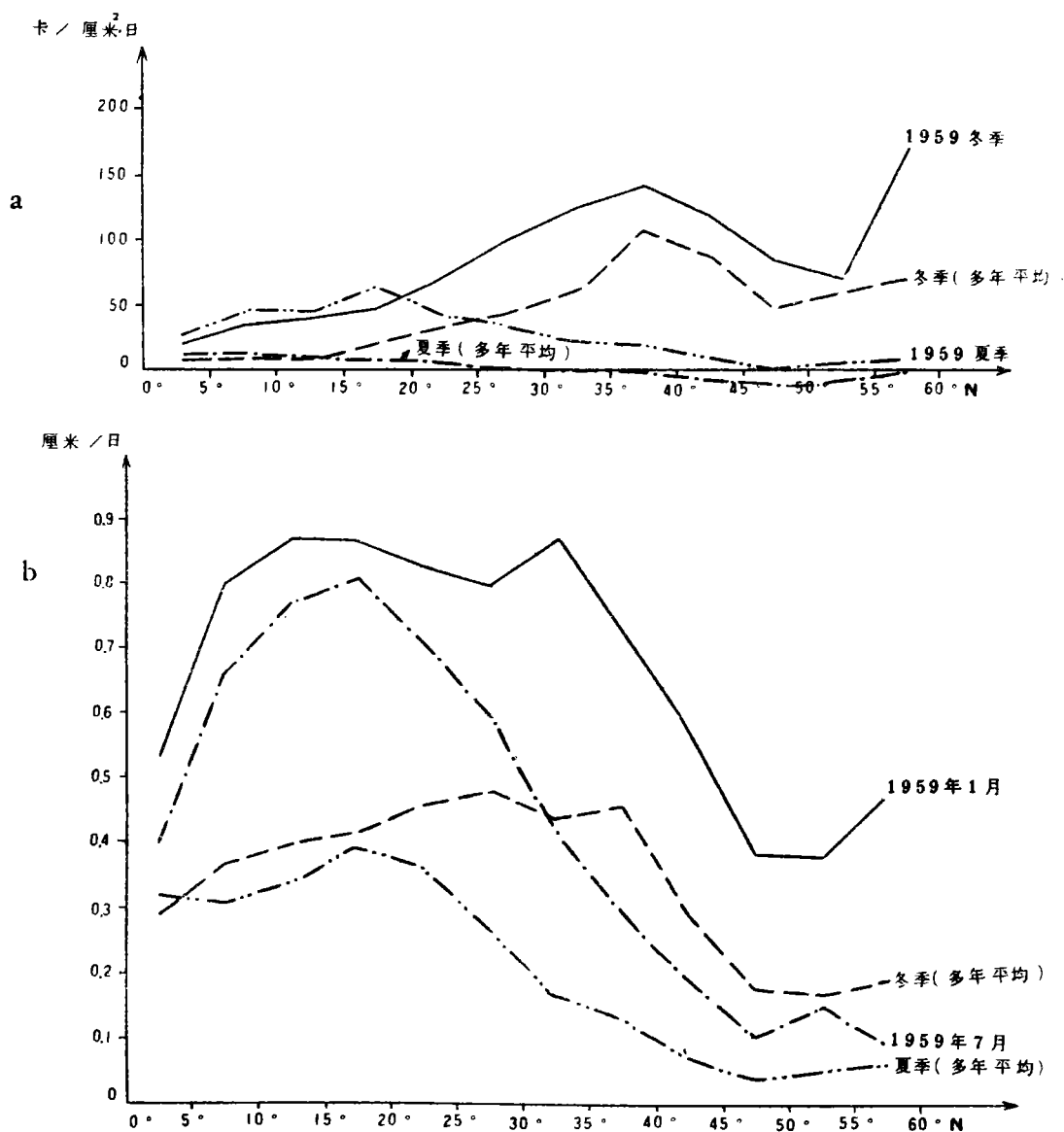
春、秋两季整个大洋上的潛热( $Q_e$ )几乎全是正值(图略)区, 負值区只是在高緯度地区有极小的小区。最大值都出現在大洋中部, 秋季在东海也有最大值区。在黑潮暖流上等值綫梯度最大, 整个大洋东部等值綫分布稀疏, 也沒有出現閉合的最大值中心。

根据以上各季的討論分析, 我們发现有下面的几个共同特征。絕大部分的洋面上有热量供給大气, 但显热( $Q_c$ )的数值是不大的, 和在大洋西北部及副热带高压地区为大的潛热( $Q_e$ )比較起来, 不超过它的 1/2。在平均水温比气温暖得多的海域, 即在暖洋流(如受黑潮影响的地区)地区, 显热( $Q_c$ )的数值較大。除暖水区外, 洋面对显热( $Q_c$ )的影响不大, 而在寒流地区, 輸向大气的显热( $Q_c$ )减弱, 并且常常出現自大气向海面的显热輸送量。一般地, 显热( $Q_c$ )的平均数值是从低緯度向高緯度增加的。通常, 大洋西部不論是显热( $Q_c$ )还是潛热( $Q_e$ )都比大洋东部的值大。

## II. 海气間能量交换的緯度分布

图 7(a)为整个北太平洋海气間能量交换的显热( $Q_c$ )在各个緯度上的平均值。我們看出: 不論 1959 年的冬季(12、1、2 月)还是夏季(6、7、8 月), 曲綫变化的趋势与多年平均值相似, 但是普遍地高出多年平均值。

冬季自赤道到  $5^{\circ}\text{N}$  是最低值,随着纬度的升高,至  $35^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$  达最大值;然后下降,至  $50^{\circ}-55^{\circ}\text{N}$  为次低值。值得注意的是: 这个次低值要比多年平均值的次值往北移了 5 个纬度。我们从 1959 年 1 月显热 ( $Q_c$ ) 月平均值(图 3)减去 Jacobs<sup>[12]</sup> 的冬季准平均值得出了 1959 年 1 月的显热距平图。这张图虽然没有给出,但是从分析中所看到的,负距平的中心正在  $50^{\circ}-55^{\circ}\text{N}$  一带。多年平均值的曲线在  $12.5^{\circ}\text{N}$  以北的纬度上,冬季大于夏季;以南则夏季大于冬季,但数量较小。而 1959 年夏季在  $17.5^{\circ}\text{N}$  显热 ( $Q_c$ ) 数值最大。在  $19^{\circ}\text{N}$  以南,显热夏季大于冬季,比多年平均值向北移动了  $6.5^{\circ}$  纬度。就是在同一距平图上,我们还看到,夏季显热 ( $Q_c$ ) 的多年平均值在高纬度 ( $37.5^{\circ}\text{N}$  以北) 为负值。而 1959 年夏季的高纬度则为正值。



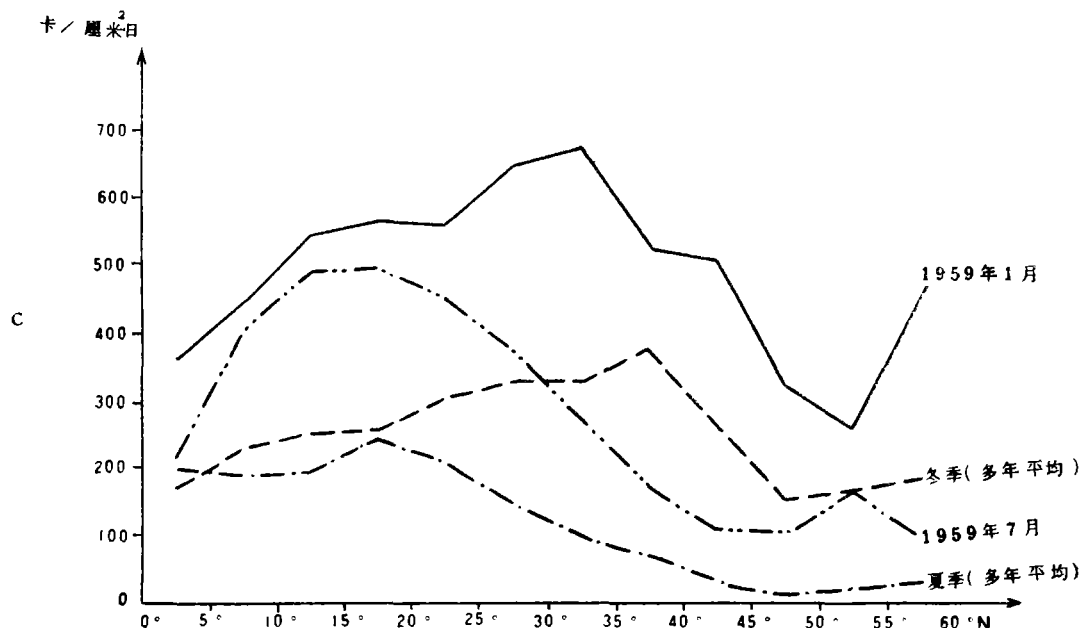


图7 能量交换随纬度的分布 $[Q_c(a)$ 、 $E(b)$ 、 $Q_a(c)$ ]

Fig. 7 Latitudinal variation of sensible heat exchange (a) evaporation (b) and total energy exchange (c). solid line—January, 1959. dashed line—winter (normal). (a)(c). dotted line—summer (normal). double dot—July, 1959. (b). dotted line—July, 1959. double dot—summer (normal).

我們又把北太平洋以  $180^\circ$  为界, 在东、西两部分分别计算了各纬度上的显热 ( $Q_c$ ) 平均值, 结果如图 8(a) (b) 所示。从图中可以看到, 在大洋西部 1959 年冬季显热在各个纬度上的分布全部高于多年平均值, 最大值出现在  $35^\circ-40^\circ\text{N}$ , 和多年平均值的最大值的纬度相重合。1959 年夏季的显热 ( $Q_c$ ) 也大于多年平均值, 最高值出现在  $15^\circ-20^\circ\text{N}$ 。

大洋东部显热 ( $Q_c$ ) 随纬度的变化是比较平稳的[图 8(b)]。1959 年冬季和夏季也是大于多年平均值, 冬季是以  $35^\circ\text{N}$  左右到  $45^\circ\text{N}$  左右为最大值; 夏季以  $15^\circ\text{N}$  左右到  $25^\circ\text{N}$  左右最大。

对比图 7(a) 和图 8(a)(b) 观察显热 ( $Q_c$ ) 随纬度分布的异同, 可以发现, 不论多年平均值或是 1959 年值, 在夏季大洋东部和西部的曲线起伏是和整个大洋夏季的曲线起伏相似的, 而冬季在大洋东部的曲线就平稳, 大洋西部在中高纬度显热 ( $Q_c$ ) 急剧增加。这显然是由于黑潮暖流强烈的热量输送所致。就季节变化而言, 大洋东部比西部小, 赤道地区比中高纬度小。

图 7(b) 是蒸发量 ( $E$ ) 随纬度的分布, 同时引入多年平均值的冬季 (12、1、2 月) 和夏季 (6、7、8 月) 的蒸发量 ( $E$ ) 来和 1959 年 1、7 月相比较。结果可看出: 1959 年 7 月从赤道到  $30^\circ\text{N}$  左右的大洋面上为强烈的蒸发区, 和多年平均值一样, 在中低纬度共有两个强烈蒸发区。我们也看到, 1959 年 1 月和 7 月的共同特点是蒸发值都超出多年平均值很多。

图 7(c) 是显热 ( $Q_c$ ) 和潜热 ( $Q_e$ ) 之和, 即海气间总能量交换 ( $Q_a$ ) 随纬度的分布。图上

表明, 1959 年海洋供给大气的总能量( $Q_a$ )在冬季以  $30^\circ-35^\circ\text{N}$  为最多, 夏季则以低纬度最多。由此可知, 在中低纬度不论冬季或夏季, 潜热交换( $Q_c$ )总是大于显热( $Q_e$ )的。

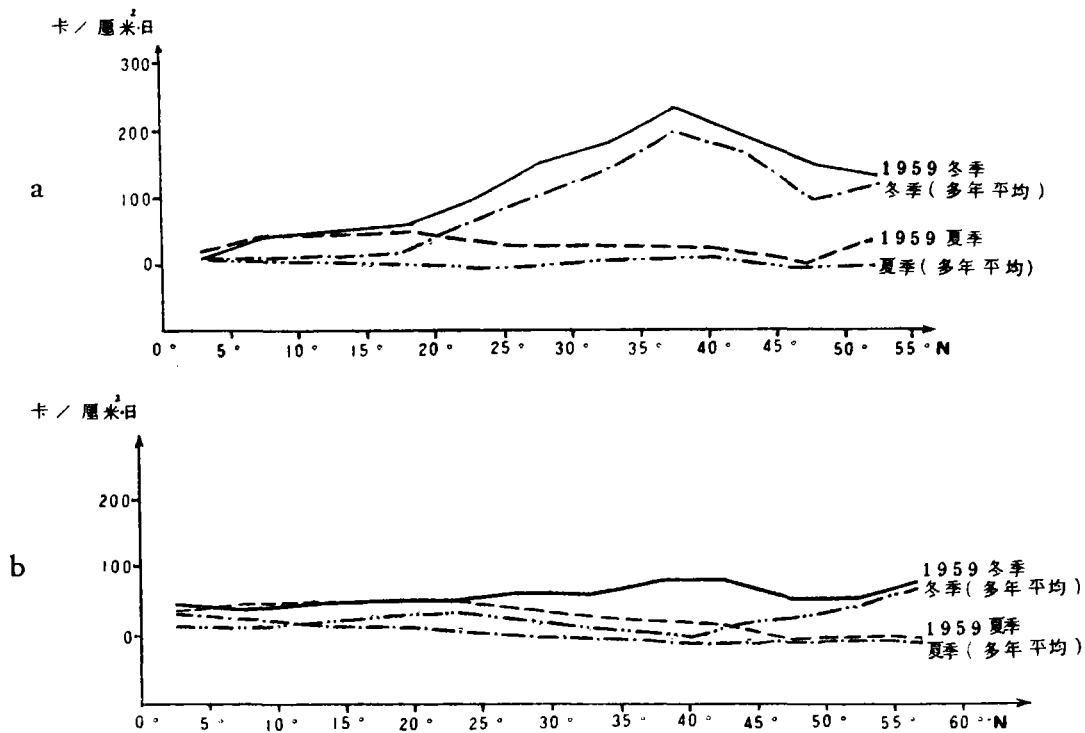


图 8 北太平洋西部(a)和东部(b)显热交换( $Q_e$ )随纬度的分布

Fig. 8 Latitudinal variation of sensible heat exchange at the western part (a) and eastern part (b) of N. Pacific.

solid line—winter, 1959. dashed line—summer, 1959.

(a). dotted line—winter (normal). double dot—summer (normal).

(b). dotted line—summer (normal). double dot—winter (normal).

关于大洋东、西两部潜热( $Q_c$ )和总能量交换( $Q_a$ )随纬度的分布, 根据我们所得到的结果与显热( $Q_e$ )相似(图略), 即大洋西部出现最高值, 变化大, 而大洋东部随纬度的变化小。

显热( $Q_e$ )在各个经度带上的分布图我们没有在这里给出, 它是在 1959 年 1 月以  $125^\circ-130^\circ\text{E}$  最大, 向东逐渐减小。而在  $115^\circ-145^\circ\text{E}$  左右低于多年平均值。7 月份各经度带的差别不大。潜热( $Q_c$ )、总能量( $Q_a$ )的经度分布也相类似(图略)。

### 三、结 语

据上述分析、讨论, 可以总结如下几点:

1. 显热( $Q_e$ )在 1959 年的分布与多年平均相似, 冬季大于夏季, 一般地, 显热( $Q_e$ )是不大的, 不超过潜热( $Q_c$ )的  $1/2$ , 但在暖平流海域上显热( $Q_e$ )的数值较大。
2. 潜热( $Q_c$ )也是冬季大于夏季, 而以大洋西北部和大洋中部的低纬度地区为大。
3. 不论显热( $Q_e$ )或潜热( $Q_c$ ), 在大洋西部的变化都比较剧烈, 并且数值较大; 东部的

变化比较平稳,并且数值较小。

4. 1959 年的冬季和夏季,在北太平洋上显热( $Q_e$ )和潜热( $Q_s$ )的数值普遍地高于多年平均值,是为我国内陆旱年的特征。

### 参 考 文 献

- [1] 吕 炯、张丕远、陈恩久, 1963. 北太平洋海水环流与梅雨盈亏。地理集刊(气候学) **6**:1—32。
- [2] 叶篤正, 1962. 最近气象学的新发展。科学通报 1962 年 (2): 28—32。
- [3] 尾形 哲, 1960. 洋面と低层大气の热交换について (I) 研究时报 **12**(2): 92—106。
- [4] 永山盛善, 1957. 中国东海的热量平衡。研究时报 **9**(2): 67—75。
- [5] 宫崎道夫, 日本海的热经济(海况预报の研究 I)。北海道区水产研究所报告 4, 1—54。
- [6] 眞鍋淑郎, 1958. 冬の日本海と大气との間のエネルギー交換について。气象集志 **36**(4): 123—134。
- [7] Редакции. “Океанология”. АН. СССР. 1961. Том 1. Вып. 1. 3—11。
- [8] Шулейкин, В. В., 1935. Элементы теплового баланса карского моря. *Тр. Таймырский гидрографический экспед.* ч. 2.
- [9] Строкина, Л. А., 1962. Тепловой баланс океана. *Тр. ГГО.* **133**:3—24。
- [10] Баталин, А. М., 1959. Тепловой баланс дальневосточных морей. Изд. АН. СССР. сер. Геофиз. **7**: 1003—1010。
- [11] Будыко, М. И., 1955. Атлас теплового баланса. Гидрометеониздат. Л.
- [12] Jacobs, W. C., 1951. The Energy Exchange Between the Sea and the Atmosphere, and Some of Its Consequences. *Bull. Scripps Inst. of Ocean. of the Univ. of Calif.* **6**(2):27—122。
- [13] Montgomery, R. B., 1940. “Observations of Vertical Humidity Distribution above the Sea Surface and their Relation to Evaporation”. *Paper Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn.*, **7**(4):30。
- [14] Rossby, C. G., 1936. “On the Momentum transfer at the Sea Surface. I” *Papers. Phys. Ocean. Meteor. Mass. Inst. Tech. Woods Hole Ocean. Instn.* **4**(3):20。
- [15] Schmidt, W., 1915. “Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen” *Ann. Hydrogr., Berl.* **43**: 111—124, 169—178。
- [16] Shellard, H. C., 1962. Some Calculations of terms in Energy Balances for monthly periods at the ocean Weather Ship Station I and J in the North Atlantic *Scientific paper No. 11, Meteo. Off. London.*
- [17] Sutton, O. G. 1934. “Wind Structure and Evaporation in a Turbulent Atmosphere.” *Proc. Roy. Soc., (A)* **146**:701—722。
- [18] Sverdrup, H. U., 1937. “On the Evaporation from the Oceans” *J. of Marine Res.* **1**:3—14。

## THE CHARACTERISTICS OF THE ENERGY EXCHANGE BETWEEN SEA AND ATMOSPHERE OF THE NORTH PACIFIC DURING THE YEAR 1959

CHEN EN-GIU AND ZHANG PI-YUAN  
(Institute of Geography, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The present paper deals with the energy exchange between the sea and the atmosphere on the North Pacific Ocean during the year 1959. The values of the energy exchange are quite diverse in different seasons and in different localities of the North Pacific. In general, the intensity of energy exchange is stronger than normal during January and July, 1959. Zonal distribution of the energy exchange is also discussed.